Geography and Environmental Hazards
Volume 11, Issue 2 - Number 42, Summer 2022
https://geoeh.um.ac.ir
https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2022.72969.1119

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال یازدهم، شمارهٔ چهل و دوم، تابستان ۱۴۰۱، صص ۷۵-۶۱

مقاله پژوهشی

ژئومورفولوژی سامانه‌های گسلی نهبندان و پیرامون در خاور ایران

مجید نعمتی[1]– دانشیار زلزله‌شناسی بخش زمین‌شناسی دانشکده علوم و مرکز پژوهشی زلزله دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران.
کاملیا یزدان‌فر– دکترای زمین‌ساخت، بخش زمین‌شناسی دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۷/۱۶ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۰/۸ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۱۰/۱۹

چکیده

ژئومورفولوژی یکی از ابزارهای شناسایی گسل‌های فعال و مناطق فعال تکتونیکی است. به دلیل وجود دگرشکلی‌های ژئومورفولوژیکی مرتبط با تکتونیک، خاور ایران یکی از گستره‌های فعال تکتونیکی است. وجود گسل‌های راستالغز بلند و هم‌چنین زمین‌درز[2] سیستان در این ناحیه از مهم‌ترین ویژگی‌های آن است. این گسل‌های راستالغز همگی راست‌گرد می‌باشند. سامانه گسلی نهبندان بلندترین سامانه گسلی خاور ایران است. این سامانه دارای دو گسل خاوری و باختری است که گسل خاوری بلندتر است. این گسل‌ها و گسل‌های پیرامون، زمین‌ریخت‌های گوناگونی را در گستره خاور ایران به وجود آورده‌اند. از این زمین‌ریخت‌های گوناگون می‌توان به جابه‌جایی آبراهه‌های جوان، چین‌ها، سازندها و ایجاد حوزه‌های کششی[3] اشاره نمود. در این پژوهش علاوه بر نمایش زمین‌ریخت‌ها و جابه‌جایی‌های گسلی، فراخاست[4] زمین نیز در پی جنبش و جابه‌جایی تجمعی[5] و درازمدت گسل‌ها بررسی شده است. در این بررسی، از تصاویر ماهواره‌ای MrSID[6] و SRTM[7] کمک گرفته شده است. با به‌کارگیری این تصاویر، بیش‌ترین و

---

۱ نویسنده مسئول: ۰۳۴۳۱۳۲۲۲۱۵ Email: nematimajid_1974@uk.ac.ir

2. Suture zone
3. Pull apart
4. Uplift
5. Cumulative
6. Multi-resolution Seamless Image Database
7. Shaded Relief Radar Topography Mission

نحوه ارجاع به این مقاله:

نعمتی، مجید؛ یزدانفر، کاملیا؛ ۱۴۰۱. ژئومورفولوژی سامانه‌های گسلی نهبندان و پیرامون در خاور ایران. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۱۱(۲). صص ۷۵-۶۱

https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2022.72969.1119

کم‌ترین فراخاست اندازه‌گیری شده عمود بر راستای گسل‌ها، به‌ترتیب ۲۰۰ متر و ۱۳۰۰ متر اندازه‌گیری شده است. بیش‌ترین جابه‌جایی افقی آب‌راهه و سازند اندازه‌گیری شده در راستای گسل‌ها، به‌ترتیب ۷۷۸۲ متر و ۱۳۷٤۰ متر برآورد شده است. گسل‌ها در برخی نقاط رخنمون دارند. در این مقاله تعدادی از این گسل‌ها که رخنمون آن‌ها قابل‌رؤیت است، مستند شده و بررسی شده‌اند.

کلیدواژه‌ها: خاور ایران، گسل نهبندان، زمین‌لرزه، ژئومورفولوژی و زمین‌ساخت جنبا.

۱- مقدمه

ژئومورفولوژی در کشف گسل‌های پنهان به ما کمک کرده و یک گواهی برای اثبات جنبا بودن گسل‌ها به شمار می‌رود. در خاور ایران چند پیوستگاه مهم چندگانه‌ای از گسل‌های جنبا وجود دارد (نعمتی و درخشانی[1]، ۲۰۲۱). این‌گونه پیوستگاه‌های گسلی، از دیدگاه لرزه‌ای بسیار اهمیت دارند. پیوستگاه چندگانه گسل‌های کوه‌بنان، لکرکوه، گلباف و شهداد گسل گلباف در استان کرمان؛ گستره گسل‌های آبیز، دشت‌بیاض و گستره طبس از لرزه‌خیزترین نقاط خاور ایران هستند. ژئومورفولوژی و زمین‌ساخت جنبا[2] با یک‌دیگر پیوند نزدیکی دارند، به‌گونه‌ای که این دانش به بررسی تعامل میان فرآیندهای زمین‌ساختی و سطحی که به شکل چشم‌انداز در مناطق دگرشکلی جنبا و در مقیاس‌های زمانی از چند روز تا میلیون‌ها سال است، می‌پردازد؛ بنابراین، می‌توان با بررسی ژئومورفولوژی سطحی به شناخت زمین‌ساخت گستره کمک نمود (رابطی و همکاران، ۱۳۷۹).

در خاور ایران زمین‌لرزه‌های بزرگ و ویرانگری روی داده است: زمین‌لرزه ۱۹٦۸ دشت‌بیاض (Mw 7.1) روی گسل دشت‌بیاض (واکرو همکاران[3]، ۲۰۰٤)، زمین‌لرزه ۱۹۷۹ طبس گلشن (Mw 7.4) (بربریان[4]، ۱۹۷۹)، زمین‌لرزه ۱۹۹۷ زیرکوه قائنات (Mw 7.1) روی گسل آبیز (بربریان و همکاران[5]، ۱۹۹۹)، زمین‌لرزه ۱۹۸۱ سیرچ (Mw 7.1) روی گسل گلباف (بربریان و همکاران[6]، ۲۰۰۱)، زمین‌لرزه‌های ۱۹۹٤ سفیدآبه (Mw 5.0-5.9) روی پایانه گسل زاهدان (بربریان و همکاران[7]، ۲۰۰۰)، زمین‌لرزه‌های ۲۰۱۷ هجدک کرمان (٦,۲Mw–٦,۰) روی پایانه گسل لکرکوه (سویج و همکاران[8]، ۲۰۱۹) (شکل ۱ آ). همگی این زمین‌لرزه‌ها اشکال مختلف ژئومورفولوژیکی بر روی زمین ایجاد نموده‌اند. لرزه‌خیزی در خاور ایران در پیرامون بلوک‌های بی‌لرزه روی گسل‌های راستالغز روی می‌دهد. در اینجا از تعدادی از این گسل‌ها نام برده شدند که سامانه گسلی نهبندان یکی از مهم‌ترین این گسل‌ها می‌باشد (نعمتی، ۱۳۹۷).

1. Nemati and Derakhshani
2. Tectonic Geomorphology
3. Walker et al.
4. Berberian et al.
5. Berberian et al.
6. Berberian et al.,
7. Berberian et al.,
8. Savidge et al.

این سامانه گسلی به‌عنوان بخشی از زمین‌درز سیستان که بلوک‌های لوت و جازموریان را به بلوک هلمند در افغانستان پیوند می‌دهد (نعمتی[1]، ۲۰۱۸)، به دو بخش خاوری و باختری تقسیم می‌شود (شکل ۱ ب).

خطیب و همکاران، (۱۳۸۷) روی زمین‌ریخت‌شناسی که روی سامانه گسلی نهبندان و تأثیر آن روی شهر نهبندان کار کرده‌اند. مرز کوه و دشت بودن گسل‌های این گستره و در کنترل داشتن توپوگرافی کنونی گستره از نتایج این کار می‌باشد. از دیگر کارهای زمین‌ریخت‌شناسی که روی سامانه گسلی نهبندان انجام شده است می‌توان به کار واکر و همکاران[2]، (۲۰۱۳) اشاره نمود. زمین‌لرزه‌های سال ۲۰۱۰-۲۰۱۱ ریگان (Mw ٦.٠-٦.٢) روی پایانه جنوبی گسل نهبندان باختری، یعنی گسل کهورک، روی داده است. شکل ۱ ب نشان می‌دهد که شمال و جنوب این سامانه از دیدگاه لرزه‌ای جنباتر هستند (زمین‌لرزه‌های سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱) (شکل ۱). گسل نهبندان گسل جنبایی است که دست‌کم از دیدگاه ژئومورفولوژی از تکه‌های زیادی درست شده است. این گسل، هم خود مسبب زمین‌لرزه‌هایی با بزرگایی نزدیک به ٥/٠ و بالاتر (زمین‌لرزه نخست ریگان در سال ۲۰۱۰/۱۲/۲۰ (٦.٢ Mw) بوده و هم گسل مادر زمین‌لرزه‌هایی بزرگ‌تر مانند زمین‌لرزه دوم ریگان در سال ۲۰۱۱/۰۱/۲۷ (٦.٠ Mw)، در جنوب گسل می‌باشد. در اینجا، منظور از گسل مادر، گسل مسبب نیست، بلکه گسلی است که جابه‌جایی آن باعث رخداد یک زمین‌لرزه روی یک گسل دیگر موجود درهم‌سایگی آن گسل شده یا یک گسل تازه در نزدیکی خود پدید آورده است. این زمین‌لرزه‌ها در پی جابه‌جایی راستبر گسل کهورک، در بخش خاوری در کوهستان، باعث تشکیل یک گسل چلیپایی[3]، با جابه‌جایی چپ‌گرد بخش باختری شده است. این گسل‌ها در کار میدانی پژوهشگران نام برده پیمایش شده و روی نقشه آورده شده است (واکر و همکاران[4]، ۲۰۱۳؛ نعمتی[5]، ۲۰۱۵). جابه‌جایی‌های پیمایش شده در پایانه گسل نهبندان، در زمین‌لرزه ۲۰۱۱-۲۰۱۰، بیشتر هملرز بوده است. درباره پایانه جنوبی گسل می‌توان گفت، بر پایه بررسی‌های انجام گرفته باقری و بیلویی (۱۳۷٤) شواهدی همچون ساختار گل مانند[6]، دسته گسل‌هایی با لغزش‌های راستبر و چپبر و چین‌های برگشته در پایانه سامانه گسلی نهبندان (گسل کهورک) حکایت از عملکرد راستبر گسل کهورک دارد. در این پژوهش، کوشش بر این بوده که جابه‌جایی‌های میان لرزه‌ای روی این سامانه گسلی و گسل‌های پیرامون در تصاویر هوایی شناسایی شده و بررسی کمی شوند. جابه‌جایی‌های لایه‌ها توسط گسل‌ها، جابه‌جایی‌های آبراهه‌ها توسط گسل‌ها و نمایش دگرشکلی‌های جوان در این پژوهش بررسی خواهند شد.

---

1. Nemati
2. Walker et al.
3. Conjugate Fault
4. Walker et al.
5. Nemati
6. Flower structure

۲- مواد و روش

۲-۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

سامانه‌های گسلی نهبندان در خاور ایران جای دارد. درازای این سامانه گسلی تقریباً ۶۰۰ کیلومتر است. این سامانه‌ها راستای شمالی – جنوبی داشته و سامانه نهبندان باختری در پایانه جنوبی خود به‌سوی باختر خمیدگی دارد. این بخش خمیده میزبان زمین‌لرزه‌های ۲۰۱۱- ۲۰۱۰ ریگان استان کرمان بوده است. این سامانه‌ها درواقع بخش مهمی از زمین‌درز سیستان به شمار می‌روند. جنبش بی‌لرزه و لرزه‌زای این سامانه‌ها که پیوند دهنده بلوک‌های بی‌لرزه لوت و جازموریان با بلوک بی‌لرزه هلمند در افغانستان هستند، در بررسی زمین‌ساخت گستره بسیار مهم است (شکل ۱ ب).

برای بررسی دگریختی‌های سطحی روی سامانه گسلی نهبندان و پیرامون نزدیک به آن، تصاویر ماهواره‌ای SRTM[1]، MrSid[2] و تصاویر میدانی به‌کار گرفته شده‌اند. تصاویر ماهواره‌ای MrSid برای جابه‌جایی افقی و تصاویر رقومی ارتفاعی SRTM برای اندازه‌گیری جابه‌جایی انباشتی قائم گسل‌ها به‌کاربرده شده است.

ژئومورفولوژی راه‌های زیادی را برای بررسی جنبا بودن یک گسل و نه الزاماً جنبش لرزه‌زای آن در یک گستره پیشنهاد می‌کند. از این راه‌ها می‌توان به بررسی جابه‌جایی آبراهه‌های دائمی و به‌ویژه فصلی در گستره‌های خشک (مانند خاور ایران)، جابه‌جایی سازندها، جابه‌جایی مسیر کاریز[3]ها و بادزن‌های آبرفتی اشاره نمود. به دلیل جنبا بودن این گستره از دیدگاه زمین‌ساختی، دگرشکلی‌های ژئومورفولوژی زیادی در سرتاسر این گسل به وجود آمده که در پی جابه‌جایی و جنبش (لرزه‌زا و بی‌لرزه) گسل‌ها در پیرامون بلوک‌های بی‌لرزه (لوت و جازموریان) ایجاد شده است (میلان و نعمتی، ۱۳۹۷). در این نوشتار، کوشش شده است تا بخشی از این دگرشکلی‌ها در تصاویر ماهواره‌ای و تصاویر میدانی نمایش داده شوند.

۳- بحث و نتایج

۳-۱- دگرشکلی‌های افقی

گسل‌ها و تکه‌های گسلی بررسی شده در این پژوهش، دو دسته‌اند: گسل‌های مرز میان کوه و دشت و گسل‌های درون‌کوهی[4]. در گستره بررسی شده، گسل‌های تشکیل دهنده مرز میان کوه و دشت (شکل ۲ آ ،پ ،ث و چ) به

1. Shuttle Radar Topography Mission, (www.jpl.nasa.gov/srtm/)
2. Multiresolution Seamless Image Database (www.usna.edu/ Users/ oceano/ pguth/ md_help/ html/ mr_ sid.html

۳. قنات

4. Intramountain

دلیل محل جاگیری و ماهیتشـان، جوان‌تر از گسـل‌های درون‌کوهی (شـکل ۲ ب ,ت ,ح ,د و ذ) هسـتند. این امر می‌تواند به دلیل سن بیش‌تر سنگ‌ها نسبت به آبرفت‌ها باشد. خاور ایران به دلیل شرایط آب‌وهوایی گرم و خشک و ویژه خود، محل آبراهه‌های فصلی بسیار زیادی می‌باشد. برخی از این آبراهه‌ها تشکیل بادزن‌های آبرفتی (مخروط‌افکنه) نیز داده‌اند (شکل ۲ چ). چین‌های تشکیل شده یا چین‌های رشد نموده همراه با جنبش گسل‌ها (Fault Bended Fold) نیز در گستره گسلی دیده شدند (شکل ۲ پ). حوزه‌های کششی نیز در گستره این گسل وجود دارند (شکل ۲ ث ,ج و چ). این حوزه‌ها معمولاً در دو پایانه گسل‌های راستالغز به وجود می‌آیند. گسل خوردگی‌های راستالغز کوچکی نیز در درون کوه‌ها در همسایگی گسل نهبندان وجود دارند (شکل ۲ ب). این گسل‌ها که راستای آن با گسل اصلی نهبندان زاویه حاده می‌سازد، در پی جابه‌جایی بزرگ راستالغز روی این گسل پدید آمده و ممکن است گسل فرعی وابسته به گسل اصلی باشند. شکل ۲ خ نیز جابه‌جایی راست‌بر دو رودخانه را در راستا گسل نمایش می‌دهد. اشکال آ، خ، د، ح و ج جابه‌جایی آبراهه‌ها و اشکال ب، ت و ذ جابه‌جایی سازندها را توسط گسل‌ها نمایش می‌دهند. در شکل‌های ۲ آ، ج، ح و د ، خمش آبراهه‌ها از جنبش گسل‌ها حکایت دارد.

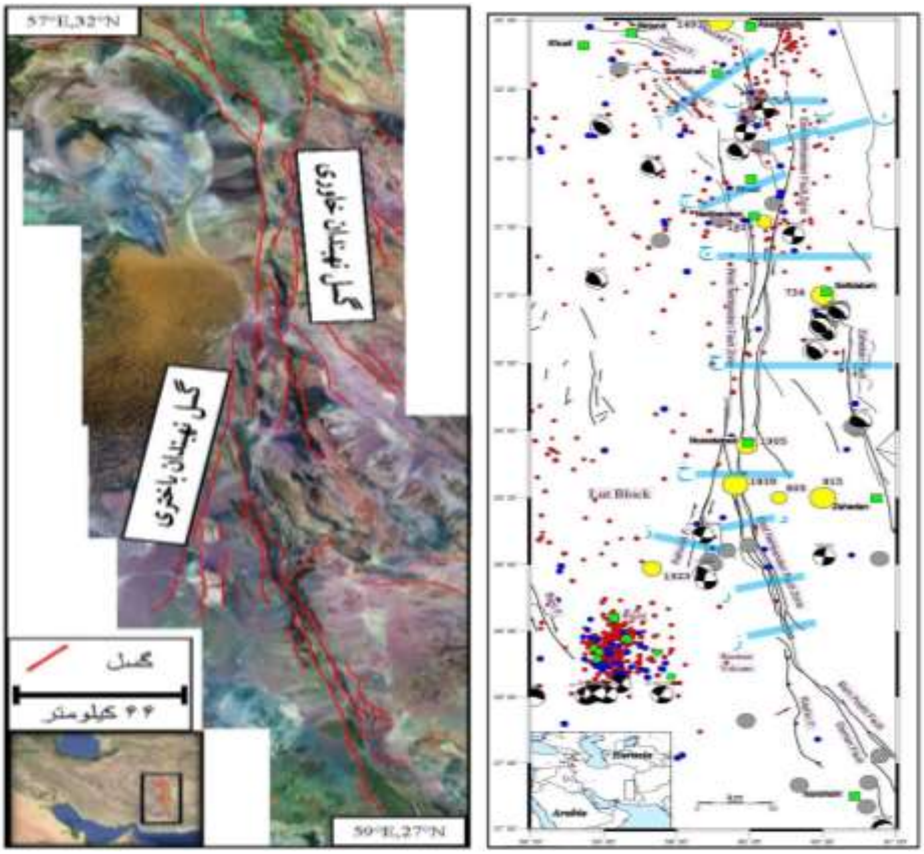
بیشترین جابه‌جایی افقی رودخانه‌ها در راستای گسل به‌اندازه ۳۹۱۰ متر می‌باشند. شکل ۲ ذ نیز که به پایانه شمالی گسل وابسته است، در یک فرآیند پیچیده که در شکل نمایش داده شده است، سازندها را جابه‌جا نموده است. در این شکل گسل میانه از گسل باختری جوان‌تر بوده و آن را جابه‌جا نموده است.

۳-۲- دگرشکلی‌های قائم

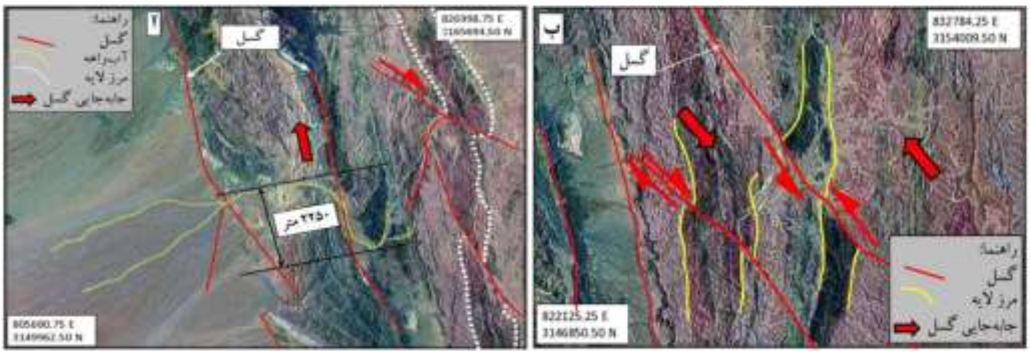
جابه‌جایی‌های انباشتی[1]، قائم در گستره‌های جنبا به دلیل جنبش بی‌لرزه گسل‌ها، جنبش بین‌لرزه‌ای آن‌ها و هم‌چنین رویداد زمین‌لرزه روی آن‌ها در دوره‌های پی‌درپی به وجود می‌آیند. این جابه‌جایی‌ها معمولاً در پی جنبش گسل‌های مرز میان کوه و دشت به وجود می‌آیند. شکل ۳، ده برش از نقاط مختلف در شمال و جنوب سامانه گسلی نهبندان و پیرامون را نمایش می‌دهد. درازای برش‌ها روی محور افقی برحسب کیلومتر و بلندای آن نیز روی محور قائم برحسب متر نمایش داده شده و مختصات UTM[2] (سیستم مختصات استوانه‌ای) دوسر برش در بالای هر برش نوشته شده است. فراخاست انباشتی در هر برش در واقع اختلاف ارتفاع میان بلندترین و پست‌ترین بخش آن برش در نظر گرفته شده است که ممکن است حاصل جنبش یک یا چند گسل یا چند شاخه از یک گسل باشد. این برش‌ها از روی تصاویر ماهواره‌ای SRTM فراهم شده و دارای توپوگرافی و پلان مختصاتی است. برش‌های پ، ر، خ و د فقط بر روی گسل نهبندان زده شده؛ برش‌های ت و ب بر روی گسل‌های پیرامون و برش‌های ح، آ، ج و ث بر روی گسل نهبندان و گسل‌های پیرامون زده شده است.

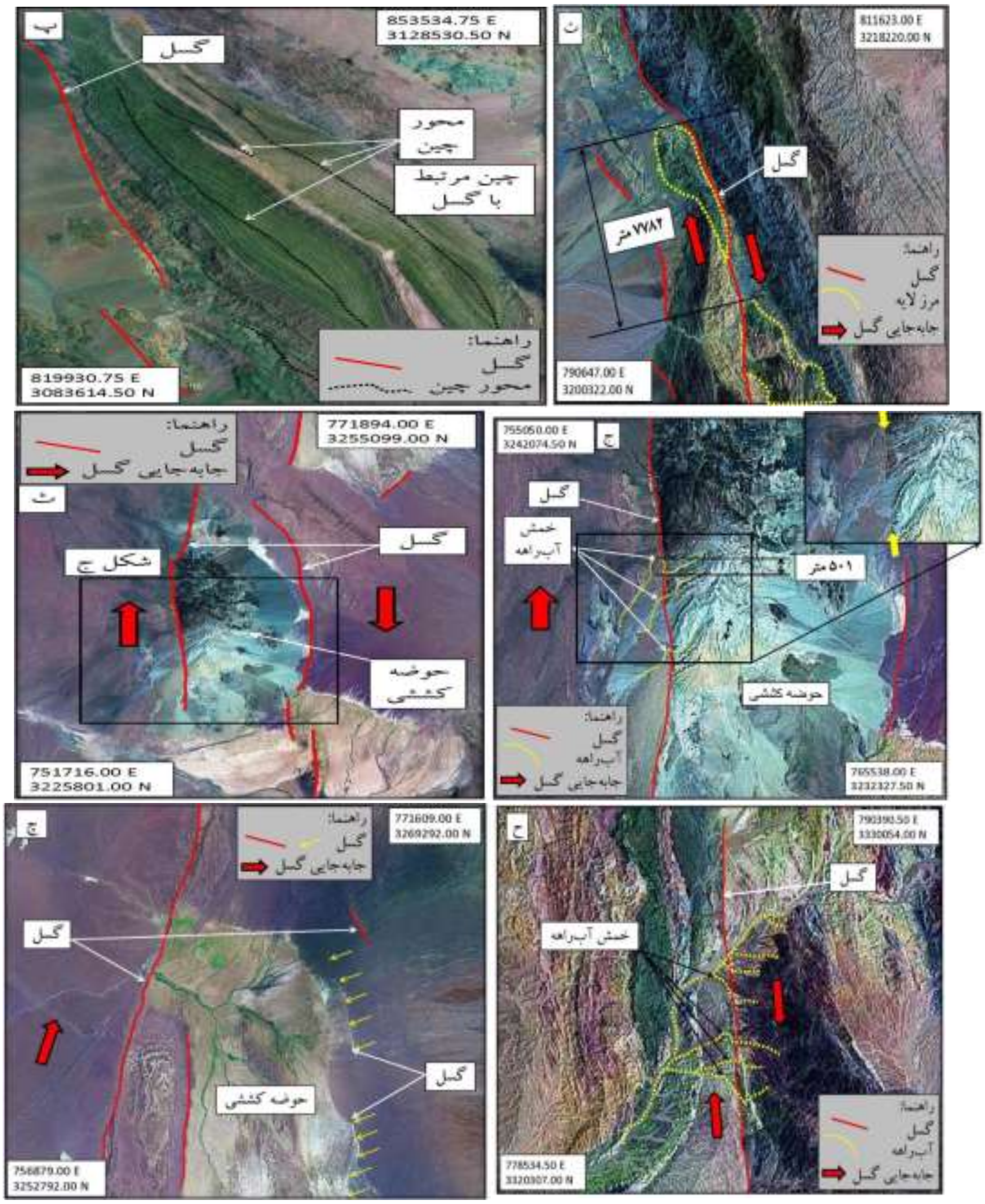
1. Cumulative displacement
2. Universal Transvers Mercator

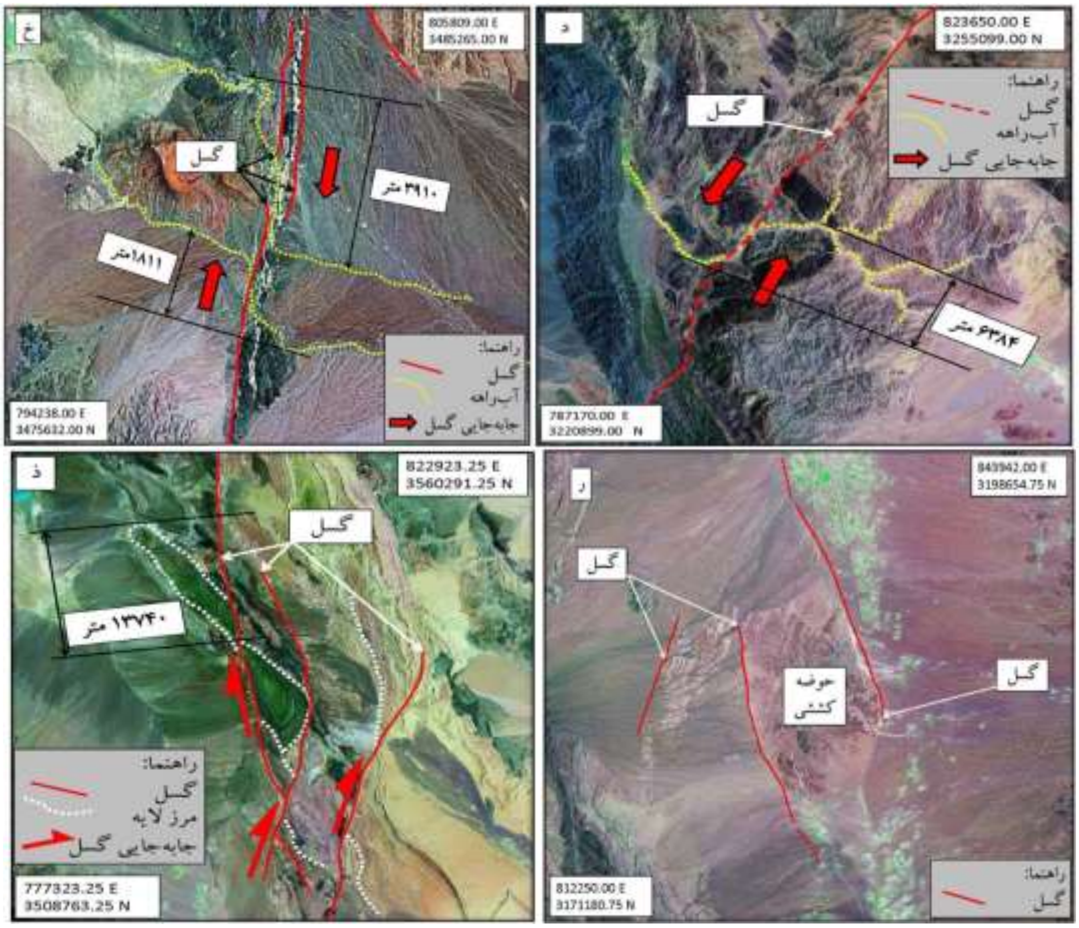
ب) آ)



شکل ۱. آ) نقشه لرزه‌زمین‌ساختی گستره گسل‌های نهبندان و پیرامون و محل برش‌های ارتفاعی روی این شکل و ب) محل این گسل‌ها روی تصاویر ماهواره‌ای.



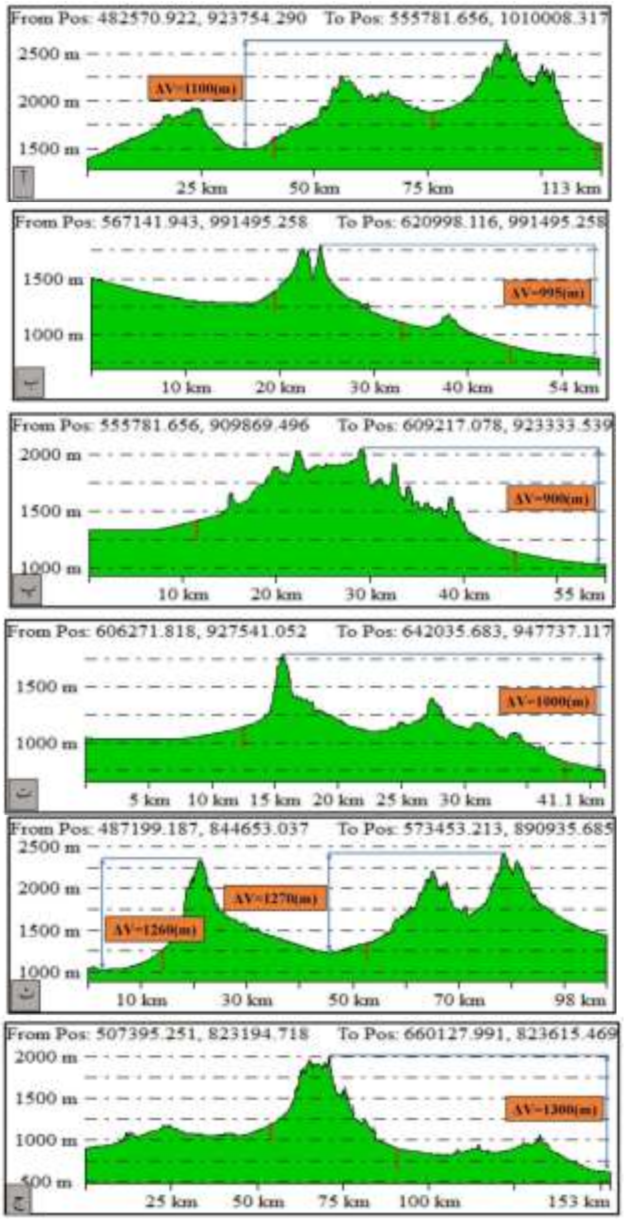

پ
853534.75 E
3128530.50 N
گسل
محور چین
چین مرتبط با گسل
راهنما:
گسل
محور چین
819930.75 E
3083614.50 N
ت
811623.00 E
3218220.00 N
گسل
۷۷۸۲ متر
راهنما:
گسل
مرز لایه
جابه‌جایی گسل
790647.00 E
3200322.00 N
راهنما:
گسل
جابه‌جایی گسل
771894.00 E
3255099.00 N
ث
گسل
شکل ج
حوضه کششی
751716.00 E
3225801.00 N
755050.00 E
3242074.50 N
ج
گسل
خمش آب‌راهه
۵۰۱ متر
حوضه کششی
راهنما:
گسل
آب‌راهه
جابه‌جایی گسل
765538.00 E
3232327.50 N
چ
راهنما:
گسل
جابه‌جایی گسل
771609.00 E
3269292.00 N
گسل
گسل
حوضه کششی
756879.00 E
3252792.00 N
ح
790390.50 E
3330054.00 N
گسل
خمش آب‌راهه
راهنما:
گسل
آب‌راهه
جابه‌جایی گسل
778534.50 E
3320307.00 N

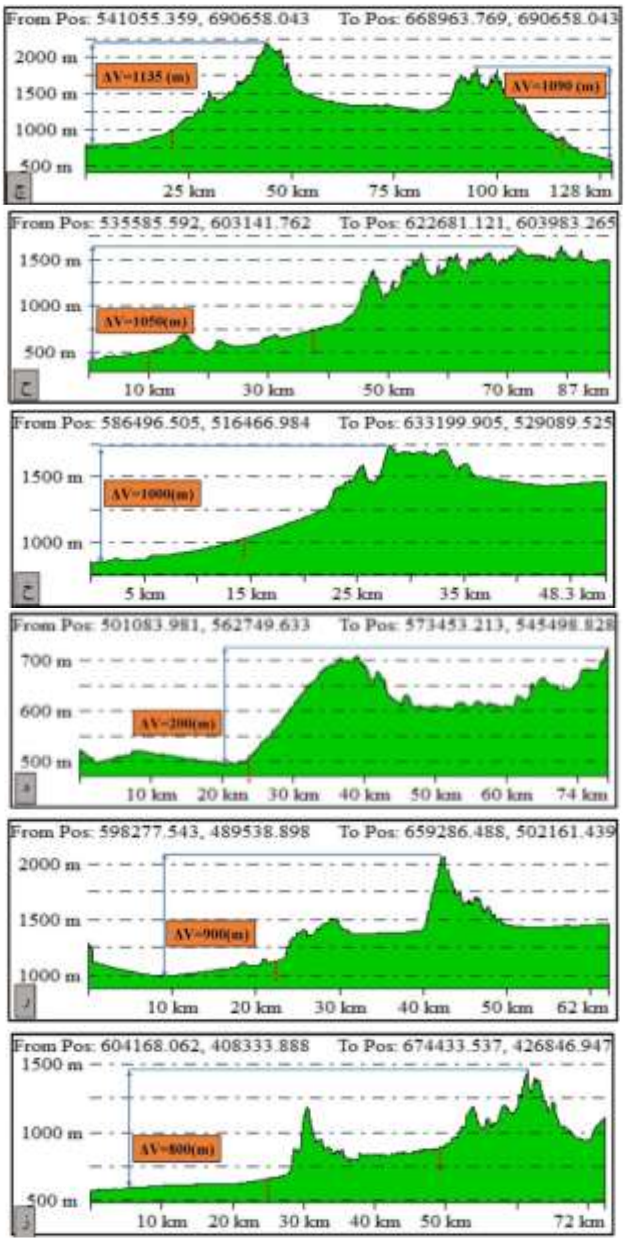


شکل ۲. آ) ۱/۷ کیلومتر جابه‌جایی یک آب‌راهه فصلی در پی حرکت راست‌بر گسل لکرکوه و ب) جابه‌جایی آبراهه‌های فصلی در پی حرکت راست‌بر گسل لکرکوه روی تصویر MrSid.

برش چ نیز بر روی دو گسل مهم نهبندان و زاهدان زده شده است. برای مشخص شدن جابه‌جایی به گونه کامل، محل برش‌ها در هر گستره عمود بر راستای گسل‌ها در آن گستره طراحی شده است.

در بلندترین نقطه، گستره گسلی بیش از ۲۶۰۰ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. ارتفاع گستره بررسی شده در برخی نقاط به کم‌تر از ۵۰۰ متر نیز می‌رسد. بیش‌ترین فراخاست انباشتی در این گستره به ۱۳۰۰ متر و کم‌ترین آن ۲۰۰ متر می‌باشند. نشان‌گرهای قائم قرمز در سطح زمین در برش‌ها نشان‌دهنده رخنمون گسل‌های احتمالی هستند که به‌وجودآورنده این فراخاست‌ها هستند. میانگین فراخاست در گستره ۹۳۶ متر به‌دست آمده که اگر بخواهیم این عدد را به‌عنوان یک شاخص برای زمین‌ساخت جنبا در گستره در نظر بگیریم، عدد کوچکی نیست.


From Pos: 482570.922, 923754.290　To Pos: 555781.656, 1010008.317
ΔV=1100(m)
2500 m
2000 m
1500 m
25 km　50 km　75 km　113 km
From Pos: 567141.943, 991495.258　To Pos: 620998.116, 991495.258
ΔV=995(m)
1500 m
1000 m
10 km　20 km　30 km　40 km　54 km
From Pos: 555781.656, 909869.496　To Pos: 609217.078, 923333.539
ΔV=900(m)
2000 m
1500 m
1000 m
10 km　20 km　30 km　40 km　55 km
From Pos: 606271.818, 927541.052　To Pos: 642035.683, 947737.117
ΔV=1000(m)
1500 m
1000 m
5 km　10 km　15 km　20 km　25 km　30 km　41.1 km
From Pos: 487199.187, 844653.037　To Pos: 573453.213, 890935.685
ΔV=1260(m)
ΔV=1270(m)
2500 m
2000 m
1500 m
1000 m
10 km　30 km　50 km　70 km　98 km
From Pos: 507395.251, 823194.718　To Pos: 660127.991, 823615.469
ΔV=1300(m)
2000 m
1500 m
1000 m
500 m
25 km　50 km　75 km　100 km　153 km



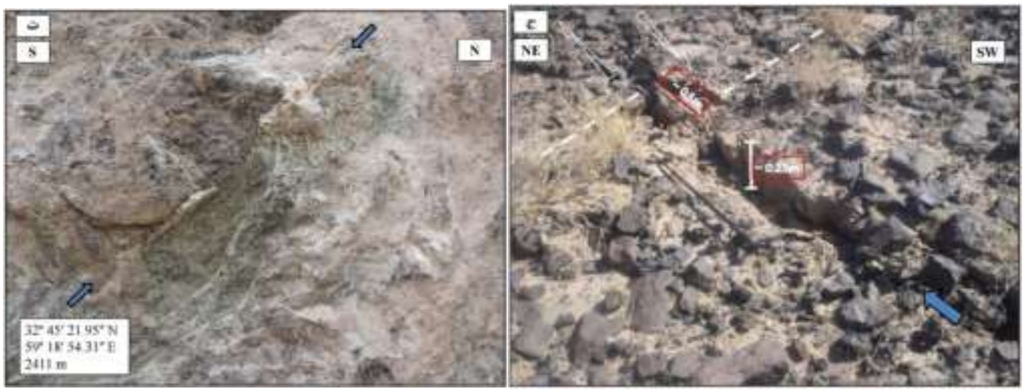
شکل ۳. جابه‌جایی انباشتی قائم روی نقاط مختلف گسل‌های نهبندان و پیرامون. محل برش‌ها در شکل ۱ آ نمایش داده شده است. جهت برش‌ها رو به شمال است.

شیب گسل‌های نهبندان با راستای شمالی- جنوبی که در بیش‌تر جاها دارای مؤلفه اصلی راستالغز راست‌بر است، تند می‌باشد. راستا و رخنمون تقریباً راست گسل (مانند گسل نای‌بند) روی سطح زمین، این گفته را تأیید می‌نماید. ممکن است سازوکار پایانه این گسل، به دلیل خمش، دارای مؤلفه معکوس نیز باشد. شکل ۱ آ راستای بسیار صاف گسل نهبندان را دست‌کم در بخش‌های میانی (N °۲۹–°۳۲/۲۵) نشان می‌دهد.

۳-۳- گواهی‌های میدانی

بازدید میدانی در این پژوهش تنها از شمال سامانه گسلی صورت گرفته است. در این بازدید، تعداد ۵ تصویر میدانی از رخنمون‌های گسلی شمال سامانه برداشته شده است. در شکل‌های ٤ که این رخنمون‌ها را به گونه آشکاری نمایش می‌دهد، راستای گسل با پیکان‌های آبی نشان داده شده است. دید تصویرها و هم‌چنین مختصات محل برداشت تصویرها روی هرکدام از آن‌ها نمایش داده شده است. تنها در تصویر پ، رخنمون گسلی چندان واضح نبوده و از خمیدگی لایه نشان داده شده با نقطه‌چین سیاه می‌توان به وجود گسل در برش طبیعی آب‌راهه پی برد. به دلیل مشکلات زمانی، لجستیکی و مالی و بزرگ بودن و صعب‌العبور بودن گستره بررسی شده، امکان بازدید میدانی از کل گسل وجود ندارد. تصویر ج از پایانه گسل نهبندان باختری (گسل کهورک) پس از زمین‌لرزه ۲۰۱۰ ریگان از بخشی از رخنمون گسلش هم‌لرز زمین‌لرزه برداشت شده است که نزدیک به ۲۵ سانتی‌متر جابه‌جایی محلی افقی و نزدیک به ۵۰ سانتی‌متر جابه‌جایی محلی قائم ایجاد نموده است.





شکل ٤. تصاویر میدانی از نقاط مختلف گسل‌های نهبندان و پیرامون. راستای گسل با پیکان‌های آبی نشان داده شده است.

٤- جمع‌بندی

خاور ایران به دلیل گرم و خشک بودن، در حفظ اشکال مختلف فرسایش در سطح زمین بی‌نظیر است. برای مثال با گذشت نزدیک به ٥٣ سال، هنوز نزدیک به یک متر از فراخاست گسلی زمین‌لرزه ١٩٦٨ دشت‌بیاض، در برخی نقاط روی گسل دشت‌بیاض در شمال بیرجند حفظ شده است. زمین‌ریخت‌های پیامد زمین‌ساخت جنبا و فرسایش، به‌ترتیب بیش‌تر در کناره‌ها و در میانه بلوک‌های بی‌لرزه مانند بلوک طبس و ایران مرکزی در خاور ایران و هم‌چنین، استان کرمان (بلوک‌های لوت و جازموریان) روی می‌دهند. در درون بلوک‌های نام برده با اینکه لرزه‌خیزی دیده نمی‌شود، اشکال متنوع ژئومورفولوژیکی و فرسایشی در آن‌ها دیده می‌شود. زمین‌ساخت جنبا و فرسایش در این گستره، اشکال زمین‌ریختی گوناگونی را به وجود آورده است. بیش‌تر زمین‌ریخت‌های بررسی شده در این نوشتار توسط گسل‌های جنبا به وجود آمده‌اند؛ بنابراین، یکی از بهترین راه‌ها برای بررسی زمین‌ساخت جنبا در این‌گونه محیط‌ها، بررسی ژئومورفولوژی است. با توجه به نرخ بالای لرزه‌خیزی در خاور ایران، به‌جز گسل‌های نای‌بند و سروستان، جنبش بیش‌تر گسل‌ها در این گستره، لرزه‌زا نیز هست. در این پژوهش بررسی و نمایش زمین‌ریخت‌ها، به کمک جابه‌جایی آبراهه‌های فصلی، بادزن‌های آبرفتی و سازندها انجام شده است. می‌توان گفت که دگرشکلی‌های ژئومورفولوژیکی ایجادشده توسط گسل‌ها مانند موارد گفته شده می‌توانند در بررسی‌های زمین‌ساخت جنبا مدنظر قرار بگیرند.

جابه‌جایی‌های ژئومورفولوژیکی سطحی را می‌توان به دو دسته افقی و قائم دسته‌بندی نمود. بیش‌تر جابه‌جایی‌های افقی را، درصورتی‌که به‌اندازه کافی بزرگ باشند، می‌توان روی تصاویر ماهواره‌ای با کیفیت بررسی نموده و نشان داد. اگرچه، درباره جابه‌جایی‌های قائم، کار کمی سخت‌تر خواهد بود. در این مورد، تصاویر با قدرت تفکیک بالاتری نیاز خواهد بود.

در سـرتاسر گسل نهبندان تکه‌های گسلی وجود دارد که در آن‌ها جابه‌جایی آبراهه‌ها و جابه‌جایی سازندها توسط گسل از جنبش آن تکه‌های گسلی حکایت دارد. بایستی میان خمش خود آبراهه یا مسیر آن که توسط آب باز شده و خمش یا جابه‌جایی آبراهه توسط گسل تفاوت قائل شد. معمولاً، خمش خود آبراهه به‌سختی و نرمی زمین و اندازه و جهت شـیب آن و عوامل دیگری به‌جز تکتونیک وابسـته اسـت. گسـل نهبندان و گسـل‌های پیرامون و فرعی آن که به‌ترتیب از سـیسـتم برشـی ساده و فشاری تبعیت می‌کنند، از ۵۰۱ متر جابه‌جایی راستالغز انباشتی در کنار یک حوزه کششی در میانه گسل تا بیش از ۱۳ کیلومتر جابه‌جایی را در جنوب گسل در کارنامه خود دارند. هم‌چنین، جابه‌جایی انباشتی قائم گسل نیز در جای‌جای آن، از ۲۰۰ متر تا بیش از ۱۳۰۰ متر اندازه‌گیری شده است.

این گسـل در بخش عمده‌ای از درازای خود، مرز بارزی میان کوه و دشـت تشکیل داده است. این گسل در مرز میان کوه و دشـت جابه‌جایی افقی زیادی ایجاد نکرده است. گسل‌های نهبندان در پایانه شمالی خود خمش داشته که به گمان با تغییر سـازوکار نیز همراه اسـت. زمین‌لرزه‌ای ۲۰۱۰ ریگان (Mw 6.2) درسـت بر روی پایانه جنوبی گسل نهبندان باختری روی داده اسـت. در این بررسی، روند خاصی در جابه‌جایی‌های افقی گسلی از شمال به جنوب یا از جنوب به شـمال روی سـامانه گسـلی دیده نشـد. درباره جابه‌جایی‌های قائم می‌توان گفت به گمان، دو پایانه سامانه گسـلی، از جابه‌جایی قائم کم‌تری در سـنجش با میانه گسـل برخوردار هسـتند. درباره لرزه‌خیزی در خاور ایران نیز وضـعیت به همین‌گونه اسـت. لرزه‌خیزی در خاور ایران، بیشـتر روی پایانه‌های شمالی و جنوبی گسل‌های راستالغز روی می‌دهد. به‌عنوان‌مثال می‌توان به زمین‌لرزه ۱۹۷۸ طبس گلشـن (Mw ۷/٤)، سـری زمین‌لرزه‌های ۱۹۹٤ سفیدآبه (Mw ٦/۰) (بربریان و همکاران، ۲۰۰۰) و زمین‌لرزه‌های ۲۰۱۱–۲۰۱۰ ریگان اشـاره نمود. این زمین‌لرزه‌ها، به‌ترتیب روی پایانه‌های شـمالی و جنوبی گسـل‌های نایبند، زاهدان و نهبندان روی داده‌اند. سـازوکار این زمین‌لرزه‌ها به دلیل خمش گسل‌های آن‌ها نسبت به راستای گسل‌های راستالغز، معکوس می‌باشد (نعمتی و درخشانی[1]، ۲۰۲۱).

بازدید میدانی در این پژوهش تنها از شمال سامانه گسلی صورت گرفته است. رخنمون‌های گسلی در برخی نقاط چندان واضح نیستند. در برخی نقاط نیز یک زون گسلی به‌جای صفحه گسلی ایجاد شده است. در این‌گونه موارد از شـواهد جانبی مانند توپوگرافی و خمیدگی لایه می‌توان به وجود گسـل در برش‌های طبیعی مانند آبراهه‌ها پی برد. روی پایانه گسـل نهبندان باختری (گسل کهورک) که میزبان زمین‌لرزه ۲۰۱۰ ریگان می‌باشد، ۲۵ سانتی‌متر جابه‌جایی افقی و نزدیک به ۵۰ سانتی‌متر جابه‌جایی محلی قائم ایجاد شده است.

سپاس‌گزاری

از آقای دکتر احمد رشـیدی از پژوهشـگاه بین‌المللی زلزله شـناسی و مهندسی زلزله برای کمک در این پژوهش سپاس‌گزاری می‌شود.

1. Nemati and Derakhshani

کتابنامه

باقری، ساسان؛ پیلویی، مهدی؛ ۱۳۸۷. گسل کهور و شواهد ساختاری حاشیه آن، منطقه چاه داشی – غرب نهبندان. دوازدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران.، اهواز. شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب.

خطیب، محمدمهدی؛ سالاروند، اسماعیل؛ بومر، محمد؛ ۱۳۸۷. تأثیر حرکات سیستم گسلی نهبندان بر ژئومورفولوژی اطراف شهر نهبندان. *جغرافیا و توسعه*. دوره ٦. شماره ۱۲. صص ۲٤-۵. https://gdij.usb.ac.ir/article_1240.html

رابطیِ، دنیا؛ ده‌بزرگی، مریم؛ حکیمی، سعید؛ نوزعیم، رضا؛ ۱۳۹۷. بررسی زمین ساخت فعال با استفاده از شاخص‌های ژئومورفولوژی در حوضه سپیدرود. البرز غربی. *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*. دوره ۷. شماره ۲. پاییز ۱۳۹۷. صص ۱٤۰-۱۵۷ http://www.geomorphologyjournal.ir/article_81026.html

میلان، فاطمه؛ نعمتی مجید؛ ۱۳۹۷. شاخص‌های ژئومورفولوژی، زمین‌ساخت جنبا و لرزه‌خیزی حوزه‌های لوت و جازموریان (استان کرمان). *فصلنامه علمی- پژوهشی زمین‌شناسی محیط‌زیست*.، سال دوازدهم. شماره ٤۲. صص ۳۳-٤۵. https://geojournal.islamshahr.iau.ir/article_545375.html

نعمتی، مجید؛ ۱۳۹۷. *مبانی لرزه‌زمین‌ساخت با نگاهی ویژه به لرزه‌زمین‌ساخت ایران‌زمین*. انتشارات دانشگاه شهیدباهنر کرمان. ۳۰۰ ص. https://mybooket.com/books/04788a1053a14692

Berberian M, Jackson JA, Fielding E, Parsons BE, Priestly K, Qorashi M, Talebian M, Walker R, Wright, TJ Baker E., 2001. The 1998 March 14 Fandoqa earthquake (Mw6.6) in Kerman, southeast Iran: re-rupture of the 1981 Sirch earthquake fault, triggering of slip on adjacent thrusts, and the active tectonics of the Gowk fault zone. Geophysical Journal International 146 (2): 371–398. https:// onlinelibrary.wiley.com/ doi/ 10.1046/ j.1365-246x.2001.01459.x

Berberian M, Jackson JA, Qorashi M, Khatib MM, Priestley K, Talebian M, Ghafuri-Ashtiani, M. 1999. The 1997 May 10 Zirkuh (Qa'enat) earthquake (M7.2): faulting along the Sistan suture zone of eastern Iran. Geophysical Journal International 136: 671–694. https:// doi. org/ 10.1046/j.1365-246x.1999.00762.x

Berberian M, Jackson JA, Qorashi M, Talebian M, Khatib M, Priestley K., 2000. The 1994 Sefidabeh earthquakes in eastern Iran: blind thrusting and bedding-plane slip on a growing anticline, and active tectonics of the Sistan suture zone. Geophysical Journal International 142 (2): 283–299. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1365-246x.2000.00158.x

Berberian M., 1979. Earthquake faulting and bedding thrust associated with the Tabas-e-Golshan (Iran) earthquake of September 16, 1978. Bull. Seismol. Soc. Am., 69 (6): 1861–1887. https://doi.org/10.1785/BSSA0690061861

Nemati M, Derakhshani R., 2021. Short-term seismicity patterns along the most active faults in Iran". Journal of Iberian Geology 47(3):441-459. . https://doi.org/10.1007/s41513-020-00133-0

Nemati M., 2015. Aftershocks investigation of 2010 Dec. and 2011 Jan. Rigan earthquakes in the southern Kerman province, SE Iran. Journal of Tethys (Iran) 3(2): 96-113. http://jththys.org

Nemati M., 2018. Seismotectonic and seismicity of Makran, a bimodal subduction zone, SE Iran. Journal of Asian Earth Sciences 196: 139-161. https:// doi. org/ 10.1016/ j.jseaes. 2018. 08. 009

Savidge E, Nissen E, Nemati M, Karas¨ozen E, Hollingsworth J, Talebian M, Bergman E, Ghods A, Ghorashi M, Kosari E, Rashidi A, Rashidi A., 2019. The December 2017 Hojedk (Iran) earthquake triplet — sequential rupture of shallow reverse faults in a strike-slip restraining bend. Geophysical Journal International 217(2): 909-925. https:// doi. org/ 10. 1007/ s10950-020-09934-3

Walker R, Jackson J, Baker C., 2004. Active faulting and seismicity of the Dasht-e-Bayaz region, eastern Iran. Geophysical Journal International 157: 265–285. https:// academic. oup. com/ gji/article/157/1/265/557991

Walker RT, Bergman EA, Elliott JR, Fielding EJ, Ghods AR, Ghoraishi M, Jackson J, Nazari H, Nemati M, Oveisi B, Talebian M, Walters RJ., 2013, The 2010-2011 South Rigan (Baluchestan) earthquake sequence and its implications for distributed deformation and earthquake hazard in southeast Iran. Geophysical Journal International, 193, 349-374. https://academic.oup.com/gji/article/193/1/349/739478